

EXPRESS MAIL NO. EV 327 133 729 US

DATE OF DEPOSIT 9/10/03

Our File No. 9281-4632

Client No. N US01145

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)
Hisayuki Yazawa et al.)
Serial No. To be Assigned)
Filing Date: Herewith)
For Soft Magnetic Film and Thin Film)
Magnetic Head Using the Same)

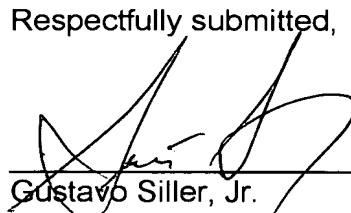
SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of priority document Japanese Patent Application No. 2002-267729, filed September 13, 2002 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,



Gustavo Siller, Jr.
Registration No. 32,305
Attorney for Applicants

BRINKS HOFER GILSON & LIONE
P.O. BOX 10395
CHICAGO, ILLINOIS 60610
(312) 321-4200

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application: 2002年 9月13日

出願番号

Application Number: 特願2002-267729

[ST.10/C]:

[JP2002-267729]

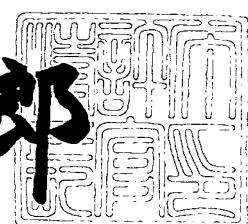
出願人

Applicant(s): アルプス電気株式会社

2003年 3月24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3019669

【書類名】 特許願

【整理番号】 011264AL

【提出日】 平成14年 9月13日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/127

【発明の名称】 軟磁性膜及びこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド

【請求項の数】 13

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

【氏名】 矢澤 久幸

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

【氏名】 金田 吉弘

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100121049

【弁理士】

【氏名又は名称】 三輪 正義

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 軟磁性膜及びこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド

【特許請求の範囲】

【請求項1】 組成式が $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ (ただし、x、yは質量%比で、 $0.65 \leq x \leq 0.75$ 、 $x + y = 1$ 、a、bは質量%で、 $0 \text{ 質量\%} < b \leq 5 \text{ 質量\%}$ 、 $a + b = 100 \text{ 質量\%}$ の関係を満足するものである。) で示され、メッキ法によって形成されることを特徴とする軟磁性膜。

【請求項2】 前記軟磁性膜の比抵抗が $40 \mu\Omega \cdot cm$ 以上である請求項1記載の軟磁性膜。

【請求項3】 前記Feの質量%比xが $x \geq 0.65$ であり、かつ比抵抗が $55 \mu\Omega \cdot cm$ 以上である請求項1記載の軟磁性膜。

【請求項4】 前記Feの質量%比xが $x \geq 0.65$ であり、かつ比抵抗が $70 \mu\Omega \cdot cm$ 以上である請求項3記載の軟磁性膜

【請求項5】 飽和磁束密度Bsが $1.50 (T)$ 以上である請求項1ないし4のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項6】 飽和磁束密度Bsが $1.67 (T)$ 以上である請求項5に記載の軟磁性膜。

【請求項7】 飽和磁束密度Bsが $1.78 (T)$ 以上である請求項6記載の軟磁性膜。

【請求項8】 飽和磁束密度Bsが $1.90 (T)$ 以上である請求項7記載の軟磁性膜。

【請求項9】 保磁力Hcが $96 (A/m)$ 以下である請求項1ないし8のいずれかに記載の軟磁性膜。

【請求項10】 磁性材料製の下部コア層と、前記下部コア層上に磁気ギヤップを介して形成された上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、

少なくとも一方のコア層は、請求項1ないし9のいずれかに記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項11】 前記下部コア層上には記録媒体との対向面で下部磁極層が

隆起形成されている請求項10記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項12】 下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、

前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成されている請求項10記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項13】 前記コア層は、少なくとも磁気ギャップに隣接する部分が2層以上の磁性層から成り、あるいは前記磁極層が2層以上の磁性層から成り、前記磁性層のうち前記磁気ギャップから離れている側の磁性層が、前記軟磁性膜により形成されている請求項10ないし12のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば薄膜磁気ヘッドのコア材として使用される、高比抵抗かつ高飽和磁束密度であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜及びこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】

薄膜磁気ヘッドや薄膜インダクタ等の平面型磁気素子で磁性材料を使用する部分には、NiFe合金（パーマロイ）がよく用いられる。

【0003】

前記NiFe合金は、比較的優れた軟磁気特性を有し、しかもメッキ形成の容易さなどから、頻繁に使用される磁性材料の一つとなっている。

【0004】

しかしながら、近年平面型磁気素子の高周波電流対応が進み、高周波電流領域

におけるうず電流損失が問題になってきた。

【0005】

うず電流損失を低減するためには、比抵抗の大きい軟磁性膜を用いることが有効である。

【0006】

例えば、特開平8-212512号（特許文献1）には、NiFe2元系合金にMoを添加することによって、比抵抗を $40 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以上とした軟磁性膜を用いて、高周波記録時のうず電流損失を低減することを目指した薄膜磁気ヘッドが記載されている。

【0007】

【特許文献1】

特開平8-212512号公報（第11-12頁、第16-18図）

【特許文献2】

特開平9-63016号公報（第5-6頁、第5図）

【特許文献3】

特開2000-235911号公報（第3-4頁、第1図）

【特許文献4】

特開2000-58364号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特開平8-212512号に記載のFeNiMo合金膜は、前記FeのNiに対する組成比が60%を越えると、飽和磁束密度Bsが急激に減少するものであった。その結果、特開平8-212512号に記載のFeNiMo合金膜の飽和磁束密度Bsは1.6T（テスラ）以下となっていた。理論的には、FeNiMo合金膜のFe含有量が増大すれば、飽和磁束密度も大きくなるのだが、特開平8-212512号では、前記FeのNiに対する組成比が60%を越える安定なFeNiMo合金膜を形成できていないものと考えられる。なお、このFeNiMo合金は、直流電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成されたものである。

【0009】

また、特許文献2ないし4にも、FeNiMo合金膜が記載されているが、いずれも、前記FeのNiに対する組成比が60%を越える安定なFeNiMo合金膜ではない。

【0010】

しかしながら、今後の高記録密度化に伴い、記録密度を向上させるには、前記FeNiMo合金中のFe含有量をさらに多くして、飽和磁束密度Bsをさらに高くすることが要望されていた。

【0011】

そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、Feが従来よりも多く含有されても、高い飽和磁束密度Bsの値を安定して示すことができ、同時に高比抵抗を示すFeNiMo合金からなる軟磁性膜、及びこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッドを提供することを目的としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明の軟磁性膜は、組成式が $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ (ただし、x、yは質量%比で、 $0.65 \leq x \leq 0.75$ 、 $x + y = 1$ 、a、bは質量%で、 0 質量%<b ≤ 5 質量%、 $a + b = 100$ 質量%の関係を満足するものである。) で示され、メッキ法によって形成されることを特徴とする。

【0013】

本発明では、FeNiMo合金からなる軟磁性膜のFeの組成比xを規定している。飽和磁束密度Bsは、主としてFeの組成比xに左右され、Feの組成比xが多いほど前記Bsは大きくなる。これは、Slater-Pauling曲線に示される原子磁気モーメントの関係に由来している。しかしながらFeの組成比がある一定以上多くなるとメッキ膜の成長過程が阻害され緻密な結晶を形成できず、前記Bsは低下するものと考えられる。

【0014】

本発明では、前記軟磁性膜はメッキ形成されたものである。メッキ形成により前記軟磁性膜の厚みを比較的自由に変更でき、フレームメッキ法を用いることで

任意形状の前記軟磁性膜を厚みのある膜として形成することができる。また、メッキ形成によって形成された前記軟磁性膜は、スパッタ法などの真空成膜法によって形成された軟磁性膜よりも一定の膜厚になりやすい。軟磁性膜の膜厚が厚くなる程、メッキ形成によって形成された前記軟磁性膜と、スパッタ法などの真空成膜法によって形成された軟磁性膜との、膜厚の安定化度の差は大きくなる。

【0015】

特に、本発明では、パルス電流による電気メッキ法を使用し、さらにメッキ浴組成を適正に調整することにより、高Fe濃度及び高飽和磁束密度のFeNiMo合金からなる軟磁性膜を得ることができる。

【0016】

後述する製造方法によって、直流電流による電気メッキ法に代えて、パルス電流による電気メッキ法を使用し、さらにメッキ浴組成を適正に調整することで、Feの組成比xが上記の値であり、しかも安定したFeNiMo合金からなる軟磁性膜を得ることができた。

【0017】

また、本発明の軟磁性膜では、Moが上記組成比で含有されることにより、比抵抗が増大している。

【0018】

具体的には、前記軟磁性膜の比抵抗を $40\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以上にすることができる。

【0019】

本発明では、FeのNiに対する質量%比xが $x \geq 0.65$ であり、かつ比抵抗が $55\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以上であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜を得ることができた。

【0020】

また、本発明では、FeのNiに対する質量%比xが $x \geq 0.65$ であり、かつ比抵抗が $70\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以上であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜を得ることができた。

【0021】

さらに、本発明では、FeのNiに対する質量%比xが $x \geq 0.65$ であり、かつ比抵抗が $75 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以上であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜を得ることができた。

【0022】

また、本発明では、FeのNiに対する質量%比xが $x \geq 0.70$ であり、かつ比抵抗が $45 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以上であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜を得ることができた。

【0023】

さらに、本発明では、FeのNiに対する質量%比xが $x \geq 0.70$ であり、かつ比抵抗が $70 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以上であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜を得ることができた。

【0024】

また、本発明は、FeのNiに対する質量%比xが $x \geq 0.65$ 、より好ましくは $x \geq 0.70$ であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜であるが、このようにFe含有量が多くても、1.50 (T) 以上、1.67 (T) 以上、1.78 (T) 以上、または1.90 (T) 以上の飽和磁束密度Bsを安定して出せる軟磁性膜が本発明である。本発明で、高Fe濃度及び高飽和磁束密度を達成できるのは、パルス電流による電気メッキ法を使用し、さらにメッキ浴組成を適正に調整したためである。

【0025】

なお、本発明の軟磁性膜の飽和磁束密度Bsは、FeのNiに対する質量%比xに加えて、Moの質量%bによっても規定される。Moの質量%bが大きくなると、FeNiMo合金の比抵抗ρが大きくなり、高周波領域におけるうず電流損失を効果的に低減できるが、飽和磁束密度が低下する。ただし、本発明のように、FeのNiに対する質量%比xが0.65以上であって、FeNiMo合金中のMoの質量%が0質量%<b≤5質量%の範囲であれば、飽和磁束密度が1.50 (T) 以上である前記FeNiMo合金からなる軟磁性膜を確実に得ることができる。

【0026】

FeNiMo合金中のMo濃度と比抵抗ρ及び飽和磁束密度Bsとの関係については後述する実施例のところで詳述する。

【0027】

なお、本発明の軟磁性膜は、保磁力Hcを96(A/m)以下にすることが可能である。

【0028】

また本発明は、磁性材料製の下部コア層と、前記下部コア層上に磁気ギャップを介して形成された上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、

少なくとも一方のコア層は、上記に記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とするものである。

【0029】

また本発明では、前記下部コア層上には記録媒体との対向面で下部磁極層が隆起形成されていることが好ましい。

【0030】

さらに本発明における薄膜磁気ヘッドは、下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、

前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成されているとより好ましい。

【0031】

また本発明では、前記コア層は、少なくとも磁気ギャップに隣接する部分が2層以上の磁性層から成り、あるいは前記磁極層が2層以上の磁性層から成り、前記磁性層のうち前記磁気ギャップから離れた側の磁性層が、前記軟磁性膜により形成されていることが好ましい。

【0032】

上記したように本発明における軟磁性膜としてのFeNiMo合金は、飽和磁束密度Bsが高く、また比抵抗も大きい。このような軟磁性膜を薄膜磁気ヘッドのコア材として使用することで、ギャップ近傍での磁束の集中化を図りつつ、高周波領域におけるうず電流損失を低減できるので、高記録密度化を促進させることができる。

【0033】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の第1実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、図2は図1に示す薄膜磁気ヘッドを2-2線から切断し矢印方向から見た縦断面図である。

【0034】

本発明における薄膜磁気ヘッドは、浮上式ヘッドを構成するセラミック材のスライダ11のトレーリング側端面11aに形成されたものであり、MRヘッドh1と、書き込み用のインダクティブヘッドh2とが積層された、MR/インダクティブ複合型薄膜磁気ヘッド（以下、単に薄膜磁気ヘッドという）となっている。

【0035】

MRヘッドh1は、磁気抵抗効果を利用してハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界を検出し、記録信号を読み取るものである。

【0036】

図2に示すように、前記スライダ11のトレーリング側端面11a上にAl₂O₃膜12を介してNiFe等からなる磁性材料製の下部シールド層13が形成され、さらにその上に絶縁材料製の下部ギャップ層14が形成されている。

【0037】

前記下部ギャップ層14上には記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方向）に向けて、異方性磁気抵抗効果（AMR）素子、巨大磁気抵抗効果（GMR）素子あるいはトンネル型磁気抵抗効果（TMR）素子などの磁気抵抗効果素子10が形成され、さらに前記磁気抵抗効果素子10及び下部ギャップ層14上には絶縁材料製の上部ギャップ層15が形成されている。さらに前記上部ギャップ層15の上にNiFe等の磁性材料で形成された上部シールド層16が形成されている。MRヘッドh1は、前記下部シールド層13から上部シールド層16ま

での積層膜で構成されている。

【0038】

次に図1及び2に示す実施形態では、前記上部シールド層16がインダクティブヘッドh2の下部コア層としても兼用されており、前記下部コア層16上には、Gd決め層17が形成され、記録媒体との対向面から前記Gd決め層17の先端部までの長さ寸法でギャップデプス(Gd)が規制される。前記Gd決め層17は例えば絶縁材料などで形成される。

【0039】

また前記下部コア層16の上面16aは図1に示すように、磁極部18の基端からトラック幅方向(図示X方向)に離れるにしたがって下面方向に傾く傾斜面で形成されており、これによりサイドフリンジングの発生を抑制することが可能である。

【0040】

また図2に示すように、記録媒体との対向面から前記Gd決め層17上にかけて磁極部18が形成されている。

【0041】

前記磁極部18は下から下部磁極層19、非磁性のギャップ層20、及び上部磁極層21が積層されている。

【0042】

前記下部磁極層19は、下部コア層16上に直接メッキ形成されている。また前記下部磁極層19の上に形成されたギャップ層20は、メッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されていることが好ましい。具体的には、NiP、NiPd、NiW、NiMo、Au、Pt、Rh、Pd、Ru、Crのうち1種または2種以上から選択されたものであることが好ましい。

【0043】

なお本発明における具体的な実施形態として前記ギャップ層20にはNiPが使用される。NiPで前記ギャップ層20を形成することで前記ギャップ層20を適切に非磁性状態にできるからである。

【0044】

さらに前記ギャップ層20の上に形成された上部磁極層21は、その上に形成される上部コア層22と磁気的に接続される。

【0045】

上記のようにギャップ層20がメッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されると、下部磁極層19、ギャップ層20及び上部磁極層21を連続メッキ形成することが可能である。

【0046】

なお前記磁極部18は、ギャップ層20及び上部磁極層21の2層で構成されてもよい。

【0047】

図1に示すように、前記磁極部18はトラック幅方向（図示X方向）における幅寸法がトラック幅Twで形成されている。

【0048】

図1及び図2に示すように、前記磁極部18のトラック幅方向（図示X方向）の両側及びハイト方向後方（図示Y方向）には絶縁層23が形成されている。前記絶縁層23の上面は前記磁極部18の上面と同一平面とされる。

【0049】

図2に示すように、前記絶縁層23上にはコイル層24が螺旋状にパターン形成されている。また前記コイル層24上は有機絶縁製の絶縁層25によって覆われている。

【0050】

図2に示すように、磁極部18上から絶縁層25上にかけて上部コア層22が例えばフレームメッキ法によりパターン形成されている。図1に示すように、前記上部コア層22の先端部22aは、記録媒体との対向面でのトラック幅方向における幅寸法がT1で形成され、かかる幅寸法T1はトラック幅Twよりも大きく形成されている。また、上部コア層22の前端面22a1は、記録媒体との対向面よりハイト方向後方（図示Y方向）に後退している。すなわち、図1において、記録媒体との対向面に現れているのは、下部コア層16と磁極部18であり、上部コア層22の前端面22a1は露出しない。

【0051】

また図2に示すように、前記上部コア層22の基端部22bは、下部コア層16上に形成された磁性材料製の接続層（バックギャップ層）26上に直接接続されている。

【0052】

本発明では、前記上部コア層22及び／または下部コア層16が以下の組成比を有する軟磁性膜で形成されている。

【0053】

組成式が $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ (ただし、x、yは質量%比で、 $0.65 \leq x \leq 0.75$ 、 $x+y=1$ 、a、bは質量%で、 0 質量%< b ≤ 5 質量%、 $a+b=100$ 質量%) の関係を満足するものである。) で示される軟磁性膜。

【0054】

本発明では、FeNiMo合金からなる軟磁性膜のFeの組成比xを規定している。飽和磁束密度Bsは、主としてFeの組成比xに左右され、Feの組成比xが多いほど前記Bsは大きくなる。これは、Slater-Pauling曲線に示される原子磁気モーメントの関係に由来している。しかしながらFeの組成比がある一定以上多くなるとメッキ膜の成長過程が阻害され緻密な結晶を形成できず、前記Bsは低下するものと考えられる。

【0055】

後述する本発明の製造方法では、直流電流による電気メッキ法に代えて、パルス電流による電気メッキ法を使用し、さらにメッキ浴組成を適正に調整することで、Feの組成比xが上記の値であり、しかも安定したFeNiMo合金からなる軟磁性膜を得ることができた。

【0056】

また、本発明の軟磁性膜では、Moが上記組成比で含有されることにより、比抵抗が増大している。

【0057】

具体的には、前記軟磁性膜の比抵抗を $40 \mu\Omega \cdot cm$ 以上にすることができる。

。

【0058】

また、本発明では、前記Feの質量%比xが $x \geq 0.65$ であり、かつ比抵抗が $55 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以上であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜によって前記上部コア層22及び／または下部コア層16を形成することができた。

【0059】

さらに、本発明では、前記Feの質量%比xが $x \geq 0.65$ であり、かつ比抵抗が $70 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以上であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜によって前記上部コア層22及び／または下部コア層16を形成することができた。

【0060】

本発明では、前記軟磁性膜はメッキ形成されたものであることが好ましい。メッキ形成により前記軟磁性膜の厚みを比較的自由に変更でき、前記軟磁性膜を厚みのある膜として形成することができる。

【0061】

また、前記上部コア層22及び／または下部コア層16は、FeのNiに対する質量%比xが $x \geq 0.65$ 、より好ましくは $x \geq 0.70$ であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜であるが、このようにFe含有量が多くても、1.50(T)以上、1.67(T)以上、または1.78(T)以上、さらには1.90(T)以上の飽和磁束密度Bsを安定して出せる。本発明で、高Fe濃度及び高飽和磁束密度を達成できるのは、パルス電流による電気メッキ法を使用し、さらにメッキ浴組成を適正に調整したためである。

【0062】

なお、本発明の軟磁性膜の飽和磁束密度Bsは、FeのNiに対する質量%比xに加えて、Moの質量%bによっても規定される。Moの質量%bが大きくなると、FeNiMo合金の比抵抗ρが大きくなり、高周波領域におけるうず電流損失を効果的に低減できるが、飽和磁束密度が低下する。ただし、本発明のように、FeNiMo合金中のMoの質量%が0質量%<b≤5質量%の範囲であれば、飽和磁束密度が1.50(T)以上である前記FeNiMo合金からなる軟磁性膜を確実に得ることができる。

【0063】

FeNiMo合金中のMo濃度と比抵抗ρ及び飽和磁束密度Bsとの関係については後述する実施例のところで詳述する。

【0064】

なお、前記上部コア層22及び／または下部コア層16を構成する軟磁性膜は、保磁力Hcを96(A/m)以下にすることが可能である。

【0065】

上記したように本発明における軟磁性膜としてのFeNiMo合金は、飽和磁束密度Bsが高く、また比抵抗も大きい。このような軟磁性膜を薄膜磁気ヘッドのコア材として使用することで、ギャップ近傍での磁束の集中化を図りつつ、高周波領域におけるうず電流損失を低減できるので、高記録密度化を促進させることができる。

【0066】

上記したFeNiMo合金からなる軟磁性膜は、他の形態の薄膜磁気ヘッドにも使用することができる。

【0067】

図3は、本発明における第2実施形態の薄膜磁気ヘッドの構造を示す部分正面図、図4は図3に示す4-4線から薄膜磁気ヘッドを切断し矢印方向から見た縦断面図である。

【0068】

この実施形態では、MRヘッドh1の構造は図1及び図2と同じである。

図3に示すように下部コア層16上には、絶縁層31が形成されている。前記絶縁層31には、記録媒体との対向面からハイト方向(図示Y方向)後方に所定の長さ寸法で形成されたトラック幅形成溝31aが形成されている。前記トラック幅形成溝31aは記録媒体との対向面においてトラック幅Twで形成されている(図3を参照のこと)。

【0069】

前記トラック幅形成溝31aには、下から下部磁極層32、非磁性のギャップ層33、及び上部磁極層34が積層された磁極部30が形成されている。

【0070】

前記下部磁極層32は、下部コア層16上に直接メッキ形成されている。また前記下部磁極層32の上に形成されたギャップ層33は、メッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されていることが好ましい。具体的には、NiP、NiPd、NiW、NiMo、Au、Pt、Rh、Pd、Ru、Crのうち1種または2種以上から選択されたものであることが好ましい。

【0071】

なお本発明における具体的な実施形態として前記ギャップ層33にはNiPが使用される。NiPで前記ギャップ層33を形成することで前記ギャップ層33を適切に非磁性状態にできるからである。

【0072】

なお前記磁極部30は、ギャップ層33及び上部磁極層34の2層で構成されていてもよい。

【0073】

前記ギャップ層33の上には、記録媒体との対向面からギャップデプス(Gd)だけ離れた位置から絶縁層31上にかけてGd決め層37が形成されている。

【0074】

さらに前記ギャップ層33の上に形成された上部磁極層34は、その上に形成される上部コア層40と磁気的に接続される。また、上部コア層40の前端面40a1は、記録媒体との対向面よりハイト方向後方(図示Y方向)に後退している。すなわち、図3において、記録媒体との対向面に現れているのは、下部コア層16と磁極部30であり、上部コア層40の前端面40a1は露出しない。

【0075】

上記のようにギャップ層33がメッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されると、下部磁極層32、ギャップ層33及び上部磁極層34を連続メッキ形成することが可能である。

【0076】

図4に示すように前記絶縁層31の上にはコイル層38が螺旋状にパターン形成されている。前記コイル層38は有機絶縁材料などで形成された絶縁層39によって覆われている。

【0077】

図3に示すように、トラック幅規制溝31aのトラック幅方向(図示X方向)における両側端面には、前記上部磁極層34の上面から前記絶縁層31の上面31bにかけて下部コア層16から離れる方向にしたがって徐々に幅寸法が広がる傾斜面31c、31cが形成されている。

【0078】

そして図3に示すように上部コア層40の先端部40aは、前記上部磁極層34上面から前記傾斜面31c、31c上にかけて下部コア層16から離れる方向に形成されている。

【0079】

図4に示すように前記上部コア層40は、記録媒体との対向面からハイト方向(図示Y方向)にかけて絶縁層39上に形成され、前記上部コア層40の基礎部40bは下部コア層16上に直接形成されている。

【0080】

図3及び図4に示す第2実施形態では、下部コア層16及び/または上部コア層40は、組成式が $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ (ただし、x、yは質量%比で、 $0.65 \leq x \leq 0.75$ 、 $x + y = 1$ 、a、bは質量%で、 $0 \leq a \leq 5$ 質量%、 $a + b = 100$ 質量%の関係を満足するものである。)で示されるFeNiMo合金からなる軟磁性膜で形成される。

【0081】

上記FeNiMo合金は、飽和磁束密度Bsが高く、また比抵抗も大きい。このような軟磁性膜を薄膜磁気ヘッドの前記下部磁極層32及び上部磁極層34として使用することで、ギャップ近傍での磁束の集中化を図りつつ、高周波領域におけるうず電流損失を低減できるので、高記録密度化を促進させることができる。

【0082】

図1ないし図4に示す実施形態では、いずれも下部コア層16と上部コア層2、40間に磁極部18、30を有し、下部コア層16及び/または上部コア層22、40が、上記FeNiMo合金からなる軟磁性膜で形成されるものである

が、本発明では、前記下部磁極層19, 32及び／または上部磁極層21, 34が、上記FeNiMo合金からなる軟磁性膜で形成されるものであってもよい。

【0083】

ただし、前記下部磁極層19, 32及び／または上部磁極層21, 34は、下部コア層16と上部コア層22、40より飽和磁束密度が大きいことが好ましい。

【0084】

また、前記下部磁極層19, 32及び／または上部磁極層21, 34は2層以上の磁性層が積層されて構成されていてもよい。かかる構成の場合、ギャップ層20, 33から離れた側の磁性層がFeNiMo合金からなる軟磁性膜で形成され、ギャップ層20, 33に接する側の磁性層は、ギャップ層20, 33から離れた側の磁性層よりも飽和磁束密度が大きいことが好ましい。これによってギャップ近傍に磁束をより集中させることと、高周波領域における損失の低減ができる、今後の高記録密度化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することが可能である。

【0085】

また下部磁極層19, 32の飽和磁束密度Bsは高いことが好ましいが、上部磁極層21, 34の飽和磁束密度Bsよりも低くすることにより、下部磁極層と上部磁極層との間における洩れ磁界を磁化反転しやすくすると、より記録媒体への信号の書き込み密度を高くできる。

【0086】

図5は本発明における第3実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。

この実施形態ではMRヘッドh1が図1と同じである。図5に示すように下部コア層16上にはアルミナなどによる磁気ギャップ層（非磁性材料層）41が形成されている。さらに前記磁気ギャップ層41の上にはポリイミドまたはレジスト材料製の絶縁層43を介して平面的に螺旋状となるようにパターン形成されたコイル層44が設けられている。なお、前記コイル層44はCu（銅）などの電気抵抗の小さい非磁性導電性材料で形成されている。

【0087】

さらに、前記コイル層44はポリイミドまたはレジスト材料で形成された絶縁層45に囲まれ、前記絶縁層45の上に軟磁性材料製の上部コア層46が形成されている。

【0088】

図5に示すように、前記上部コア層46の先端部46aは、記録媒体との対向面において、下部コア層16の上に前記磁気ギャップ層41を介して対向し、磁気ギャップ長G11の磁気ギャップが形成されており、上部コア層46の基端部46bは図5に示すように、下部コア層16と磁気的に接続されている。

【0089】

本発明では、下部コア層16及び／または上部コア層46は、組成式が $(Fe_{x}Ni_{y})_{a}Mo_{b}$ （ただし、x、yは質量%比で、 $0.65 \leq x \leq 0.75$ 、 $x + y = 1$ 、a、bは質量%で、 0 質量%<b ≤ 5 質量%、 $a + b = 100$ 質量%の関係を満足するものである。）で示されるFeNiMo合金からなる軟磁性膜で形成されている。

【0090】

上記FeNiMo合金は、飽和磁束密度Bsが高く、また比抵抗も大きい。このような軟磁性膜を薄膜磁気ヘッドの前記下部コア層32及び上部コア層34として使用することで、ギャップ近傍での磁束の集中化を図りつつ、高周波領域におけるうず電流損失を低減できるので、高記録密度化を促進させることができる。

【0091】

図6は本発明における第4実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。

図5との違いは、上部コア層46が2層の磁性層で積層されて構成されていることである。

【0092】

前記上部コア層46は、高い飽和磁束密度Bsを有する高Bs層47とその上に積層された上層48とで構成されている。

【0093】

前記上層48は、組成式が $(Fe_{x}Ni_{y})_{a}Mo_{b}$ （ただし、x、yは質量%比

で、 $0.65 \leq x \leq 0.75$ 、 $x + y = 1$ 、 a 、 b は質量%で、 $0 \text{ 質量\%} < b \leq 5 \text{ 質量\%}$ 、 $a + b = 100 \text{ 質量\%}$ の関係を満足するものである。) で示される Fe Ni Mo 合金からなる軟磁性膜で形成されている。

【0094】

前記上部コア層46を構成する上層48は、前記高Bs層47よりも比抵抗が高くされている。前記高Bs層47は例えばNiFe合金で形成され、この場合、前記上層48のFe含有量は、高Bs層47のFe量よりも小さいことが好ましい。これによって前記高Bs層47が前記上層48よりも高い飽和磁束密度Bsを有し、ギャップ近傍に磁束を集中させて、記録分解能を向上させることができるとなる。

【0095】

前記上部コア層46に比抵抗の高い上記Fe Ni Mo合金からなる軟磁性膜で形成される上層48が設けられたことで、記録周波数が上昇することにより発生する渦電流による損失を低減させることができ、今後の高記録周波数化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することができる。

【0096】

また本発明では図6に示すように、高Bs層47が、ギャップ層41と対向する下層側に形成されていることが好ましい。また前記高Bs層47はギャップ層41上に直接接する上部コア層46の先端部46aのみに形成されていてよい。

【0097】

また下部コア層16も、高Bs層と高比抵抗層の2層で構成されていてよい。かかる構成の場合、高比抵抗層の上に高Bs層が積層され、前記高Bs層がギャップ層41を介して上部コア層46と対向する。

【0098】

また図6に示す実施形態では、上部コア層46が2層の積層構造となっているが、3層以上であってもよい。かかる構成の場合、高Bs層47は、磁気ギャップ層41に接する側に形成されることが好ましい。

【0099】

図7は本発明における第5実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。

図7の実施形態ではMRヘッドh1の構成は図1と同じである。図7に示すように下部コア層16の上に下部磁極層50が記録媒体との対向面から隆起形成されている。前記下部磁極層50のハイト方向後方(図示Y方向)には絶縁層51が形成されている。前記絶縁層51の上面は、凹形状となり、コイル形成面51aが形成されている。

【0100】

前記下部磁極層50上から前記絶縁層51上にかけてギャップ層52が形成されている。さらに前記絶縁層51のコイル形成面51a上にはギャップ層52を介してコイル層53が形成されている。前記コイル層53上は有機絶縁製の絶縁層54によって覆われている。

【0101】

図7に示すように上部コア層55は、前記ギャップ層52上から絶縁層54上にかけて例えばフレームメッキ法によりパターン形成されている。

【0102】

前記上部コア層55の先端部55aは前記ギャップ層52上に下部磁極層50と対向して形成される。前記上部コア層55の基礎部55bは、下部コア層16上に形成された持上げ層56を介して前記下部コア層16に磁気的に接続される。

【0103】

この実施形態においては、上部コア層55及び/または下部コア層16は、組成式が $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ (ただし、x、yは質量%比で、 $0.65 \leq x \leq 0.75$ 、 $x + y = 1$ 、a、bは質量%で、 $0 \text{ 質量\%} < b \leq 5 \text{ 質量\%}$ 、 $a + b = 100 \text{ 質量\%}$ の関係を満足するものである。) で示されるFeNiMo合金からなる軟磁性膜で形成されている。

【0104】

図7では下部磁極層50が形成され、前記下部磁極層50が下部コア層16よりも高い飽和磁束密度Bsを有すると、ギャップ近傍に磁束を集中させることができ記録密度の向上を図ることが可能である。

【0105】

また上部コア層55は、その全体が前記FeNiMo合金で形成されていてもよいが、図6と同様に前記上部コア層55が2層以上の磁性層の積層構造であり、そのギャップ層52から離れている側の層が上記FeNiMo合金で形成されていてもよい。またかかる場合、前記上部コア層55の先端部55aのみが2層以上の磁性層の積層構造で形成され、前記ギャップ層52上に接して高Bs層が形成されていることが、ギャップ近傍に磁束を集中させ、記録密度を向上させる点からして好ましい。

【0106】

なお本発明では、図1ないし図7に示す各実施形態においてFeNiMo合金からなる軟磁性膜はメッキ形成されていることが好ましい。本発明ではFeNiMo合金からなる軟磁性膜をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成することができる。また前記FeNiMo合金からなる軟磁性膜をメッキ形成することで任意の膜厚で形成でき、スパッタで形成するよりも厚い膜厚で形成することが可能になる。

【0107】

また各実施形態において、符号16の層は、下部コア層と上部シールド層の兼用層となっているが、前記下部コア層と上部シールド層とが別々に形成されてもよい。かかる場合、前記下部コア層と上部シールド層間には絶縁層を介在させる。

【0108】

次に図1ないし図7に示す薄膜磁気ヘッドの一般的な製造方法について以下に説明する。

【0109】

図1及び図2に示す薄膜磁気ヘッドは、下部コア層16上にGd決め層17を形成した後、レジストを用いて記録媒体との対向面からハイト方向に下部磁極層19、非磁性のギャップ層20及び上部磁極層21から成る磁極部18を連続メッキによって形成する。次に前記磁極部18のハイト方向後方に絶縁層23を形成した後、例えばCMP技術を用いて前記磁極部18の上面と前記絶縁層23の

上面とを同一平面に平坦化する。前記絶縁層23の上にコイル層24を螺旋状にパターン形成した後、前記コイル層24の上に絶縁層25を形成する。そして前記磁極部18上から絶縁層25上にかけて上部コア層22を例えばフレームメッキ法により形成する。

【0110】

図3及び図4に示す薄膜磁気ヘッドは、下部コア層16上に絶縁層31を形成した後、レジストを用いて前記絶縁層31の記録媒体との対向面からハイト方向後方に向けてトラック幅形成溝31aを形成する。さらに前記トラック幅形成溝31aに図3に示す傾斜面31c, 31cを形成する。

【0111】

前記トラック幅形成溝31a内に、下部磁極層32、非磁性のギャップ層33を形成する。前記ギャップ層33上から絶縁層31上にGd決め層37を形成した後、前記ギャップ層33上に上部磁極層34をメッキ形成する。次に前記絶縁層31上にコイル層38を螺旋状にパターン形成した後、前記コイル層38上に絶縁層39を形成する。そして前記上部磁極層34上から絶縁層39上にかけて上部コア層40を例えばフレームメッキ法にて形成する。

【0112】

図5、図6に示す薄膜磁気ヘッドは、まず下部コア層16上にギャップ層41を形成し、さらに絶縁層43を形成した後、前記絶縁層43の上にコイル層44をパターン形成する。前記コイル層44上に絶縁層45を形成した後、ギャップ層41から前記絶縁層45上にかけて上部コア層46をフレームメッキ法によりパターン形成する。

【0113】

図7に示す薄膜磁気ヘッドは、まず下部コア層16上にレジストを用いて下部磁極層50を形成し、さらに前記下部磁極層50のハイト方向後方に絶縁層51を形成する。前記下部磁極層50と前記絶縁層51の上面はCMP技術によって一旦平坦化された後、前記絶縁層51の上面に凹形状となるコイル形成面51aを形成する。次に前記下部磁極層50上から前記絶縁層51上にギャップ層52を形成した後、前記ギャップ層52上にコイル層53を螺旋状にパターン形成し

、さらに前記コイル層53上に絶縁層54を形成する。そして、前記ギャップ層52上から絶縁層54上にかけて上部コア層55を例えばフレームメッキ法によりパターン形成する。

【0114】

本発明では、前記FeNiMo合金からなる軟磁性膜をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成するものである。

【0115】

パルス電流を用いた電気メッキ法では、例えば電流制御素子のON/OFFを繰返し、メッキ形成時に、電流を流す時間と、電流を流さない空白な時間を設ける。このように電流を流さない時間を設けることで、FeNiMo合金膜を、少しづつメッキ形成し、そしてメッキ浴に占めるFeイオンの濃度を増やしても、従来のように直流電流を用いた場合に比べメッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することが可能になっている。

【0116】

なおパルス電流は、例えば数秒サイクルでON/OFFを繰返し、デューティ比を0.1～0.5程度にすることが好ましい。パルス電流の条件は、FeNiMo合金の平均結晶粒径及び膜面の中心線平均粗さRaに影響を与える。

【0117】

上記のようにパルス電流による電気メッキ法では、メッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することができるから、直流電流による電気メッキ法に比べてFeNiMo合金に含まれるFe含有量を従来よりも増やすことが可能になる。

【0118】

なお本発明では、上記FeNiMo合金からなる軟磁性膜の用途として図1ないし図7に示す薄膜磁気ヘッドを提示したが、この用途に限定されるものではない。例えばFeNiMo合金からなる軟磁性膜は、薄膜インダクタ等の平面型磁気素子等にも使用可能である。

【0119】

【実施例】

本発明では、メッキ浴からパルス電流による電気メッキ法を用いてFeNiMo合金をメッキ形成した。なお、比較のために同様のパルス電流による電気メッキ法を用いてNiFe合金のメッキ形成も行った。

【0120】

NiFe合金のメッキ浴の組成を表1に示し、FeNiMo合金のメッキ浴の組成を表2に示す。

【0121】

【表1】

NiFe	
Feイオン濃度 (g/l)	1.0~3.3
Niイオン濃度 (g/l)	10
Feイオン/Niイオン比	0.10~0.33
ホウ酸濃度 (g/l)	25
NaCl濃度 (g/l)	25
サッカリソナ濃度 (g/l)	2.0
パルス電流密度 (mA/cm ²)	9~19
パルス電流デューティ比	0.3

【0122】

【表2】

NiFeMo			
成膜品のFe質量%比	0.65	0.70	0.74 0.75
Feイオン濃度 (g/l)	2.1	2.4, 3.1	3.1 3.2, 3.3
Niイオン濃度 (g/l)	10	10	10 10
Feイオン/Niイオン比	0.21	0.24, 0.31	0.31 0.32, 0.33
Moイオン濃度 (g/l)	0.03, 0.22, 0.25	0.12, 0.31	0.25 0.25, 0.27
ホウ酸濃度 (g/l)	25	25	25 25
NaCl濃度 (g/l)	25	25	25 25
サッカリソナ濃度 (g/l)	2.0	2.0	2.0 2.0
パルス電流密度 (mA/cm ²)	19	19, 13	19 19
パルス電流デューティ比	0.3	0.3	0.3 0.3

【0123】

なお実験ではメッキ浴温度を25°C~30°Cに設定した。また電極のpHを3.0~4.0に設定した。またアノード側の電極にはNi電極を用いた。さらにパルス電流のデューティー比(ON/OFF)は300/700 msecである。

【0124】

本実施例ではFeNiMo合金をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成する。パルス電流を用いた電気メッキ法では、例えば電流制御素子のON／OFFを繰返し、メッキ形成時に、電流を流す時間と、電流を流さない空白な時間を設ける。このように電流を流さない時間を設けることで、FeNiMo合金膜を、少しずつメッキ形成し、直流電流を用いた電気メッキ法に比べメッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することが可能になっている。パルス電流による電気メッキ法によれば直流電流による電気メッキ法に比べて軟磁性膜中に含まれるFe含有量の調整が容易になり、前記Fe含有量を膜中に多く取り込むことができる。

【0125】

本発明の軟磁性膜の製造方法に使用するメッキ浴中に含まれるNiイオン濃度は、10g/lと低濃度である。従って、成膜時カソード（メッキされる側）の表面に触れるメッキ液中のNiが相対的に低下し、攪拌効果が向上することで膜中にFeを多く取り込むことができる。また、攪拌効果が向上すると、Feイオンが適切に供給されるため、緻密な結晶を形成できるようになる。

【0126】

また本実施例のように、FeNiMo合金のメッキ浴中にサッカリンナトリウム（C₆H₄COONaSO₂）を混入すると、前記サッカリンナトリウムは応力緩和剤の役割を持っているため、メッキ形成されたFeNiMo合金の膜応力を低減させることができる。

【0127】

また、FeNiMo合金のメッキ浴中に、2-ブチン-1、4ジオールを混入すると、前記FeNiMo合金の結晶粒径の粗大化を抑制し保磁力Hcを低減させることができる。

【0128】

また、前記FeNiMo合金のメッキ浴中に、界面活性剤である2-エチルヘキシリ硫酸ナトリウムを混入すると、FeNiMo合金のメッキ形成時に発生する水素を除去でき、メッキ膜に前記水素が付着することを防止することができる。前記メッキ膜に水素が付着すると、結晶が緻密に形成されずその結果、膜面の

面粗れをひどくする原因となるため、本発明のように前記水素を除去することで、前記メッキ膜の膜面の面粗れを小さくでき、保磁力Hcを小さくすることが可能である。

【0129】

なお前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムに代えてラウリル硫酸ナトリウムを混入してもよいが、前記ラウリル硫酸ナトリウムは、前記2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムに比べてメッキ浴中に入れたとき泡立ちやすいために、前記ラウリル硫酸ナトリウムを効果的に水素を除去できる程度に混入することが難しい。このため本発明では、前記ラウリル硫酸ナトリウムに比べて泡立ちにくい2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムを水素を効果的に除去できる程度に混入することができて好ましい。

【0130】

また前記メッキ浴中にホウ酸を混入すると、電極表面のpH緩衝剤となり、またメッキ膜の光沢を出すのに効果的である。

【0131】

まず、組成式が $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ (ただし、x、yは質量%比で $x + y = 1$ 、a、bは質量%で $a + b = 100$ 質量%) で示される軟磁性膜のFeの組成比x及びMoの組成b(質量%)と、比抵抗ρ及び飽和磁束密度Bsとの関係について以下に説明する。

【0132】

図8及び図9はそれぞれ、組成式が $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ (ただし、x、yは質量%比で $x + y = 1$ 、a、bは質量%で $a + b = 100$ 質量%) で示される軟磁性膜のFeの組成比x及びMoの組成b(質量%)と、飽和磁束密度Bs及び比抵抗ρとの関係を示すグラフである。

【0133】

図8によると、Moを加えないNi_xFe_y合金のNiに対するFeの組成比xを大きくすると飽和磁束密度Bsが上昇する(△)。本発明では、FeのNiに対する組成比xが0.65以上であっても飽和磁束密度は上昇し続ける。この傾向は、従来技術である特開平8-212512に記載された軟磁性膜と逆であ

る。本実施の形態のように、メッキ浴中におけるNiイオン濃度を10g/l以下とし、且つFeイオン濃度/Niイオン濃度の比率を0.21以上で0.33以下とすること、及びパルス電流を用いた電気メッキ法を使用することで、FeのNiに対する組成比xが0.65以上であっても高い飽和磁束密度を発現できる磁性膜を再現性良くメッキ形成することを可能にしている。

【0134】

図8によると、 $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが0.65であって、Mo濃度b(質量%)が5(質量%)であるとき(×)、飽和磁束密度Bsは1.50(T)となり、Moを含まないNi₃₅Fe₆₅合金の飽和磁束密度Bs=1.75(T)の86%の値になっている。ここで図9をみると、FeのNiに対する組成比xが0.65であって、Mo濃度b(質量%)が5(質量%)である $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金(×)の比抵抗ρは75μΩ·cmとなっており、Moを含まないNi₃₅Fe₆₅合金(◇)の比抵抗37μΩ·cmの202%の値を示している。

【0135】

なお、図8及び図9によると、 $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが0.65であって、Mo濃度b(質量%)が3(質量%)であるとき(△)、飽和磁束密度Bsは1.52(T)、比抵抗ρは70μΩ·cmである。また、 $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが0.65であって、Mo濃度b(質量%)が2(質量%)であるとき(□)、飽和磁束密度Bsは1.65(T)、比抵抗ρは55μΩ·cmである。

また、図8によると、 $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが0.70であって、Mo濃度b(質量%)が5(質量%)であるとき(×)、飽和磁束密度Bsは1.67(T)となり、Moを含まないNi₃₀Fe₇₀合金の飽和磁束密度Bs=1.87(T)の90%の値になっている。ここで図9をみると、FeのNiに対する組成比xが0.70であって、Mo濃度b(質量%)が5(質量%)である $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金(×)の比抵抗ρは70μΩ·cmとなっており、Moを含まないNi₃₀Fe₇₀合金(◇)の比抵抗31μΩ·cmの225%の値を示している。

【0136】

また、図8によると、 $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが0.75であって、Mo濃度b（質量%）が3（質量%）であるとき（△）飽和磁束密度Bsは1.78（T）となり、Moを含まないNi₂₅Fe₇₅合金（◇）の飽和磁束密度Bs=1.90（T）の93%の値になっている。ここで図9をみると、FeのNiに対する組成比xが0.75であって、Mo濃度b（質量%）が3（質量%）である $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金（△）の比抵抗ρは57 $\mu\Omega\cdot cm$ となっており、Moを含まないNi₂₅Fe₇₅合金（◇）の比抵抗35 $\mu\Omega\cdot cm$ の163%の値を示している。

【0137】

また、 $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが0.75であって、Mo濃度b（質量%）が2（質量%）であるとき（□）、飽和磁束密度Bsは1.90（T）となり、Moを含まないNi₂₅Fe₇₅合金（◇）の飽和磁束密度Bs=1.90（T）と変わらない値になっている。ここで図9をみると、FeのNiに対する組成比xが0.75であって、Mo濃度b（質量%）が2（質量%）である $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金（□）の比抵抗ρは40 $\mu\Omega\cdot cm$ となっており、Moを含まないNi₂₅Fe₇₅合金（◇）の比抵抗35 $\mu\Omega\cdot cm$ の114%の値を示している。

【0138】

このように、 $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中のMo濃度を大きくすると、比抵抗が大きくなり、それに伴って飽和磁束密度が低下することがわかる。

【0139】

図8及び図9の結果をまとめると、 $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが0.65のとき、Moを2（質量%）から5（質量%）の範囲で添加すると、比抵抗ρを55 $\mu\Omega\cdot cm$ から75 $\mu\Omega\cdot cm$ にできることがわかる。本発明の場合、比抵抗ρが55 $\mu\Omega\cdot cm$ から75 $\mu\Omega\cdot cm$ の $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金であっても、1.50（T）以上の飽和磁束密度を示すことができる。

【0140】

また、 $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが0.70のとき、Moを2(質量%)から5(質量%)の範囲で添加すると、比抵抗ρを $45\mu\Omega\cdot cm$ から $70\mu\Omega\cdot cm$ にできることがわかる。本発明の場合、比抵抗ρが $45\mu\Omega\cdot cm$ から $70\mu\Omega\cdot cm$ の $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ 合金であっても、1.67(T)以上の飽和磁束密度を示すことができる。

【0141】

さらに、 $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが0.75のとき、Moを2(質量%)から3(質量%)の範囲で添加すると、比抵抗ρを $40\mu\Omega\cdot cm$ から $57\mu\Omega\cdot cm$ にできることがわかる。本発明の場合、比抵抗ρが $40\mu\Omega\cdot cm$ から $57\mu\Omega\cdot cm$ の $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ 合金であっても、1.78(T)以上1.90以下の飽和磁束密度を示すことができる。

【0142】

次に、 $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ 合金中からなる軟磁性膜のMo濃度(質量%)を変化させたときの飽和磁束密度Bs、比抵抗ρ、及び保磁力Hcについて調べた。結果を図10から図12に示す。

【0143】

図10から図12には、 $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ 合金中の、FeのNiに対する組成比xが0.60のもの(比較例)と0.65のもの及び0.75のもの(実施例)それぞれの、Mo濃度を変えたときの飽和磁束密度Bs、比抵抗ρ、及び保磁力Hcが示されている。

メッキ浴の組成は以下のとおりである。

【0144】

【表3】

NiFeMo			
成膜品のFe質量%比	0.60	0.65	0.75
Feイオン濃度 (g/l)	1.3, 3.1	2.1, 3.1	3.1, 3.3
Niイオン濃度 (g/l)	10	10	10
Feイオン/Niイオン比	0.13, 0.31	0.21, 0.31	0.31, 0.33
Moイオン濃度 (g/l)	0~0.24	0~0.25	0.25, 0.27
ホウ酸濃度 (g/l)	25	25	25
NaCl濃度 (g/l)	25	25	25
サッカリンNa濃度 (g/l)	2.0	2.0	2.0
パルス電流密度 (mA/cm ²)	19, 9	19	19, 13
パルス電流デューティ比	0.3	0.3	0.3

【0145】

なお実験ではメッキ浴温度を25°C~30°Cに設定した。また電極のpH 3.0~4.0に設定した。またアノード側の電極にはNi電極を用いた。パルス電流のデューティー比(ON/OFF)を300/700 msecである。

【0146】

図10から、(Fe_xNi_y)_aMo_b合金中の、FeのNiに対する組成比xが0.60の場合(比較例)と、0.65、0.75の場合(実施例)の全てにおいて、Mo濃度が大きくなると比抵抗ρも単調増加することがわかる。

【0147】

FeのNiに対する組成比xが0.65の場合、Mo濃度が1.0(質量%)を越えると比抵抗ρが47 μΩ・cmを越え、Mo濃度が2.0(質量%)を越えると比抵抗ρが55 μΩ・cmを越える。また、Mo濃度が3.0(質量%)を越えると比抵抗ρが70 μΩ・cmを越え、Mo濃度が5.0(質量%)のときの比抵抗ρは75 μΩ・cmである。

【0148】

FeのNiに対する組成比xが0.75の場合、Mo濃度が0.6(質量%)を越えると比抵抗ρが40 μΩ・cmを越え、Mo濃度が2.8(質量%)を越えると比抵抗ρが60 μΩ・cmを越える。なお、FeのNiに対する組成比xが0.75の場合、比抵抗ρの増加率(グラフの傾き)は、Mo濃度が0(質量%)から3.5(質量%)まで一定(8.3(μΩ・cm/Mo質量%))で、3.5(質量%)を越えると低下する(4.1(μΩ・cm/Mo質量%))にな

る)。

【0149】

FeのNiに対する組成比xが0.60の場合も、組成比xが0.65の場合及び0.75の場合と同様の増加率を示している。ただし、比抵抗ρの絶対値は組成比xが0.60の方が大きくなっている。

【0150】

次に、図11から、 $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中の、FeのNiに対する組成比xが0.60の場合(比較例)と0.65の場合、0.75の場合(実施例)全てにおいて、Mo濃度が大きくなると飽和磁束密度Bsが小さくなることがわかる。

【0151】

FeのNiに対する組成比xが0.65の場合、Mo濃度が1.0(質量%)以下であると飽和磁束密度Bsが1.7(T)以上になっており、Mo濃度が2.0(質量%)以下であれば、飽和磁束密度Bsは1.65以上である。また、Mo濃度が3.0(質量%)以下であれば、飽和磁束密度Bsは1.52以上であり、Mo濃度が5.0(質量%)以下であれば、飽和磁束密度Bsは1.50以上である。

【0152】

FeのNiに対する組成比xが0.75の場合、Mo濃度が0.6(質量%)以下であると飽和磁束密度Bsが1.9(T)以上になっており、Mo濃度が2.8(質量%)以下であれば、飽和磁束密度Bsは1.78以上である。また、Mo濃度が2.6(質量%)以下であれば、飽和磁束密度Bsは1.8以上であり、Mo濃度が4.5(質量%)以下であれば、飽和磁束密度Bsは1.7以上である。

【0153】

一方、FeのNiに対する組成比xが0.60の場合、組成比xが0.75の場合と比べて、飽和磁束密度の絶対値は常に小さい。また、組成比xが0.60の場合、Mo濃度が1.0(質量%)より大きくなると、飽和磁束密度が1.5(T)より小さくなってしまう。また、組成比xが0.60の場合、組成比xが

0.75の場合と比べて、Mo濃度を増加させたときの飽和磁束密度の減少率が大きい。

【0154】

また、図12から、 $(Fe_xNi_y)_aMo_b$ 合金中のMo濃度が増加すると保磁力 H_c が低下して軟磁気特性が向上することがわかる。FeのNiに対する組成比 x が0.75の場合、Mo濃度が2.5(質量%)以上5.0(質量%)以下であれば、保磁力 H_c を96(A/m)以下にできる。また、FeのNiに対する組成比 x が0.65の場合には、組成比 x が0.75の場合よりもさらに保磁力 H_c を小さくできる。

【0155】

図13は、比抵抗 ρ を横軸に、飽和磁束密度 B_s を縦軸に設定して、図8から図12のグラフのデータをとった各FeNiMo合金の比抵抗 ρ 及び飽和磁束密度 B_s の値をプロットしたグラフである。

【0156】

図8から図12の各点には、アルファベットと数字からなる符号がつけられており、図13において同じ符号が付けられた点は同じ磁性材料から得られたデータに基づいてプロットされている。

【0157】

高周波特性に優れ、しかも、高記録密度化に対応できる薄膜磁気ヘッドを形成するための磁性材料に求められる特性は、飽和磁束密度 B_s が高く、かつ比抵抗 ρ も大きいことである。すなわち、図13のグラフにおいて、プロットされる点が図示右上方向にあるほど、好ましい磁性材料であるといえる。

しかし、一般に、磁性材料の飽和磁束密度 B_s を高くすると比抵抗 ρ が小さくなり、比抵抗 ρ を大きくすると飽和磁束密度 B_s が低くなる。

【0158】

図13から、本発明では、飽和磁束密度 B_s を1.90(T)にしても比抵抗 $40\mu\Omega\cdot cm$ を維持でき(図示A1点)、比抵抗を $75\mu\Omega\cdot cm$ にしても飽和磁束密度 B_s を1.50(T)にできる(図示C7点)。

【0159】

また、図13に示されたFeNiMo合金の ρ —Bsプロットは、すべて図示A1点—C4点—C1点—C5点—C2点—C6点—C3点—C7点を結んだ線分の図示右上方向に位置している。なお、C4点は、(ρ 50 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) ; Bs 1. 7 (T))、C1点は、(ρ 55 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) ; Bs 1. 65 (T))、C5点は、(ρ 55 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) ; Bs 1. 65 (T))、C2点は、(ρ 70 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) ; Bs 1. 52 (T))、C6点は、(ρ 70 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) ; Bs 1. 52 (T))、C3点は、(ρ 75 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) ; Bs 1. 50 (T))である。

【0160】

図13には、先行技術文献情報の特許文献1として開示された、特開平8-212512号公報の図17に記載されたFeNiMo合金の比抵抗 ρ 及び飽和磁束密度Bsを(◇)としてプロットしてある。図13を見ると、先行技術のFeNiMo合金の ρ —Bsプロットは、本発明のFeNiMo合金より図示左下にある。

【0161】

このように、本発明は、従来より高い飽和磁束密度Bsと大きな比抵抗 ρ を両立しうるFeNiMo合金を提供することが出来る。

【0162】

【発明の効果】

以上詳細に説明した本発明によれば、組成式が $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ （ただし、x、yは質量%比で、 $0.65 \leq x \leq 0.75$ 、 $x + y = 1$ 、a、bは質量%で、 0 質量%<b ≤ 5 質量%、 $a + b = 100$ 質量%）の関係を満足するものである。）で示されることを特徴とする軟磁性膜を提供できる。

【0163】

本発明の軟磁性膜は、Feの組成比xが従来より大きく、しかも安定したFeNiMo合金からなる軟磁性膜である。

また、本発明の軟磁性膜では、Moが上記組成比で含有されることにより、比抵抗が増大している。

【0164】

具体的には、前記軟磁性膜の比抵抗を $40 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以上にすることができる。

【0165】

また、本発明は、FeのNiに対する質量%比xが $x \geq 0.65$ 、より好ましくは $x \geq 0.70$ であるFeNiMo合金からなる軟磁性膜であるが、このようにFe含有量が多くても、1.50(T)以上、1.67(T)以上、または1.78(T)以上、さらには1.90(T)以上の飽和磁束密度Bsを安定して出せる。従って、高い飽和磁束密度Bsと大きな比抵抗ρを両立しうるFeNiMo合金を容易に提供することが出来る。

【0166】

また本発明では、メッキ浴組成を適正に調整し、パルス電流を用いた電気メッキ法により、前記軟磁性膜を再現性良くメッキ形成することができる。

以上、本発明のFeNiMo合金からなる軟磁性膜を、薄膜磁気ヘッドのコア層や磁極層に使用すれば、今後の高記録密度化、高周波数化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、

【図2】

図1の縦断面図、

【図3】

本発明の第2実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、

【図4】

図3の縦断面図、

【図5】

本発明の第3実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図6】

本発明の第4実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図7】

本発明の第5実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図8】

組成式が $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ (ただし、x、yは質量%比で $x + y = 1$ 、a, bは質量%で $a + b = 100$ 質量%で示される軟磁性膜のFeの組成比x及びMoの組成b (質量%) と、飽和磁束密度Bsとの関係を示すグラフ、

【図9】

組成式が $(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ (ただし、x、yは質量%比で $x + y = 1$ 、a, bは質量%で $a + b = 100$ 質量%で示される軟磁性膜のFeの組成比x及びMoの組成b (質量%) と、比抵抗との関係を示すグラフ、

【図10】

$(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中の、FeのNiに対する組成比xが0.60のもの (比較例) と0.65、0.75のもの (実施例) それぞれの、Mo濃度を変えたときの比抵抗を示すグラフ、

【図11】

$(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中の、FeのNiに対する組成比xが0.60のもの (比較例) と0.65、0.75のもの (実施例) それぞれの、Mo濃度を変えたときの飽和磁束密度を示すグラフ、

【図12】

$(Fe_xNi_y)_{a}Mo_b$ 合金中の、FeのNiに対する組成比xが0.60のもの (比較例) と0.65、0.75のもの (実施例) それぞれの、Mo濃度を変えたときの保磁力を示すグラフ、

【図13】

比抵抗ρを横軸に、飽和磁束密度Bsを縦軸に設定して、本発明によって得られた各FeNiMo合金の比抵抗ρ及び飽和磁束密度Bsの値をプロットしたグラフ、

【符号の説明】

11 スライダ

10 磁気抵抗効果素子

16 下部コア層 (上部シールド層)

18、30 磁極部

19、32、50 下部磁極層

20、33 ギャップ層

21、34 上部磁極層

22、40、46、55 上部コア層

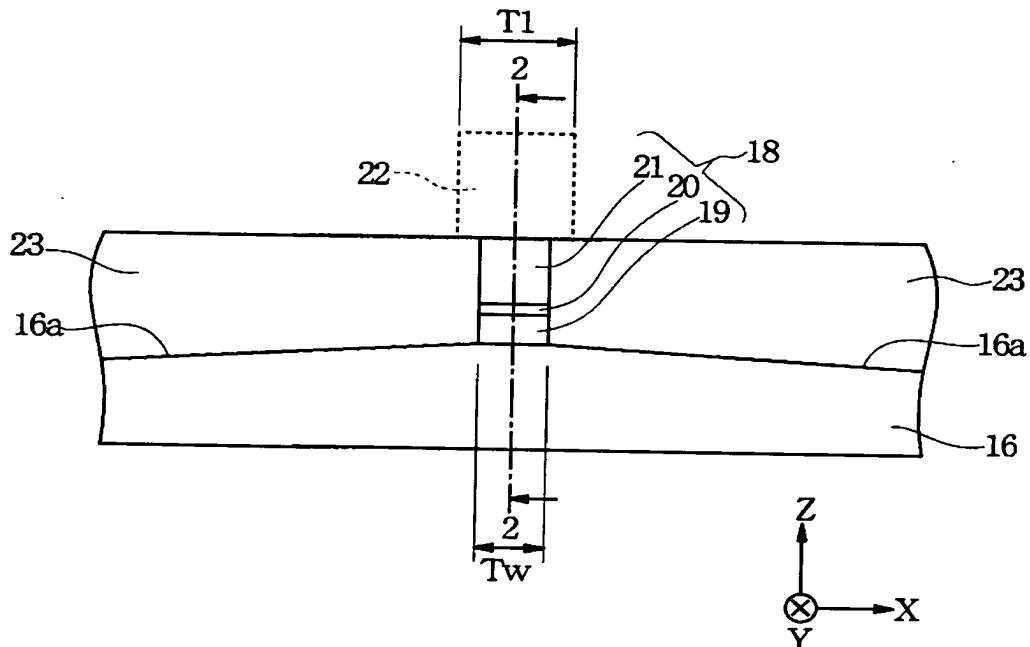
41 磁気ギャップ層

47 高Bs層

48 上層

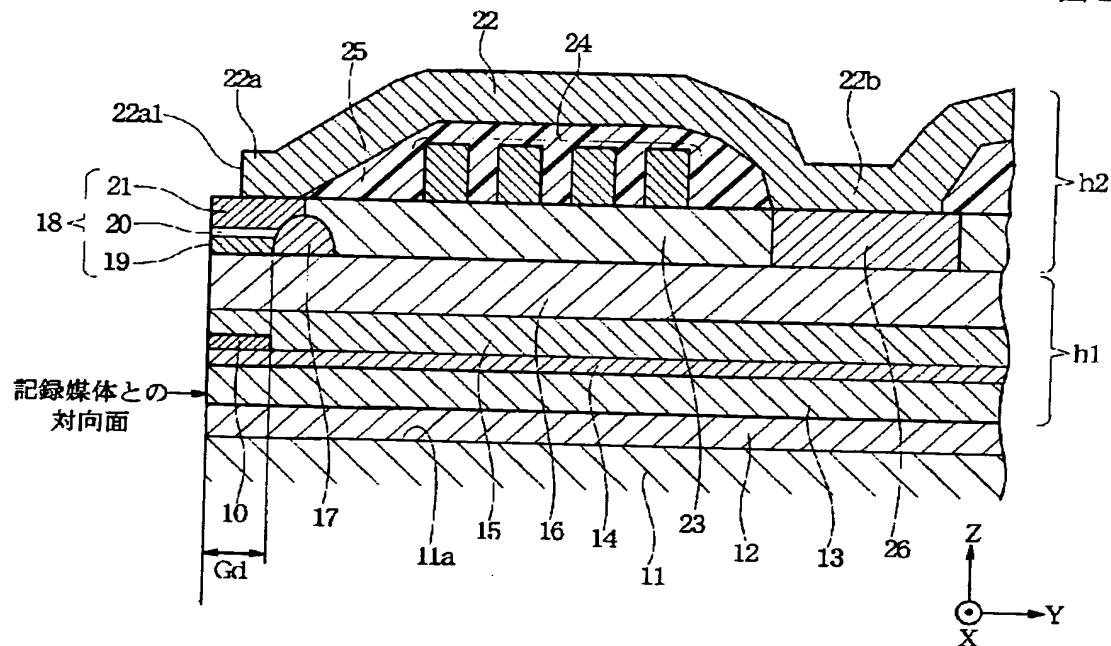
【書類名】 図面
【図1】

図1



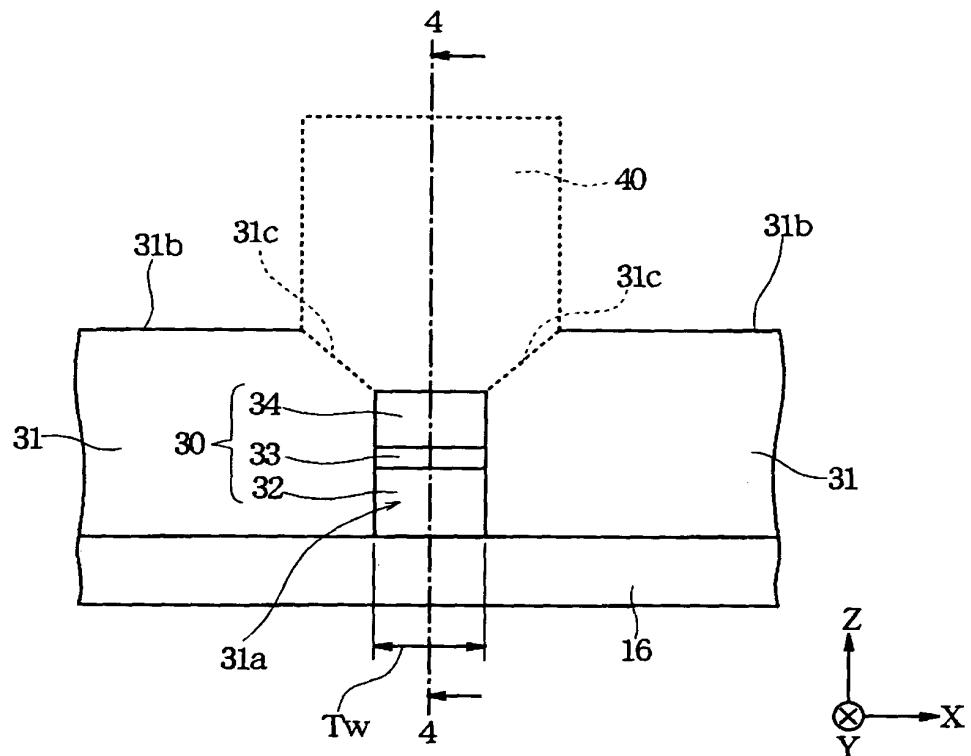
【図2】

図2



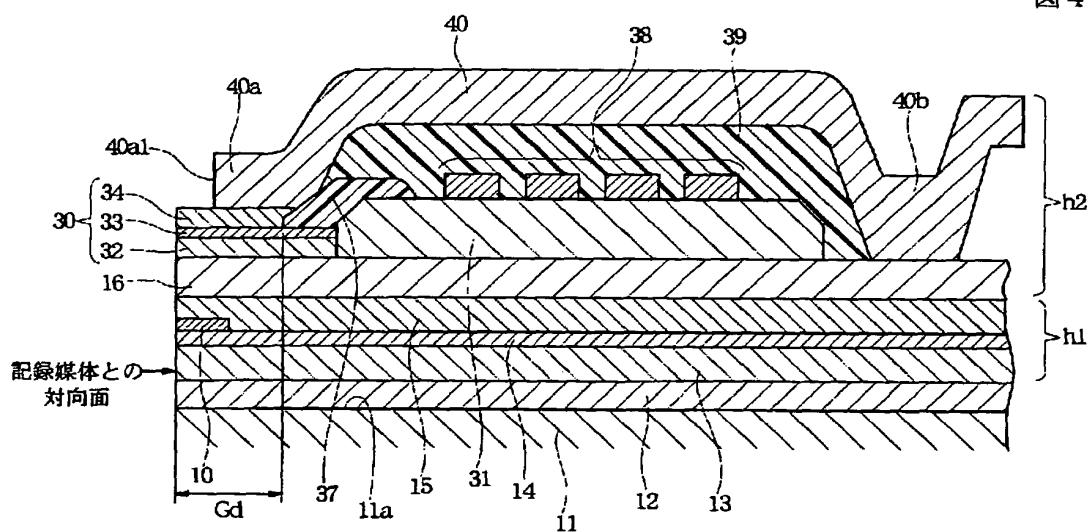
【図3】

図3



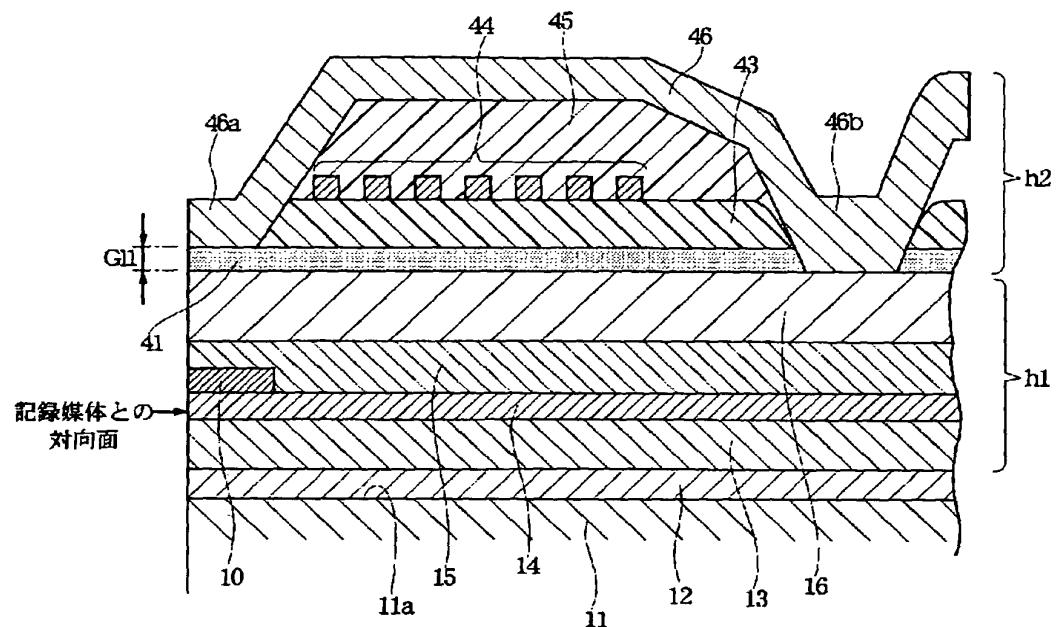
【図4】

図4



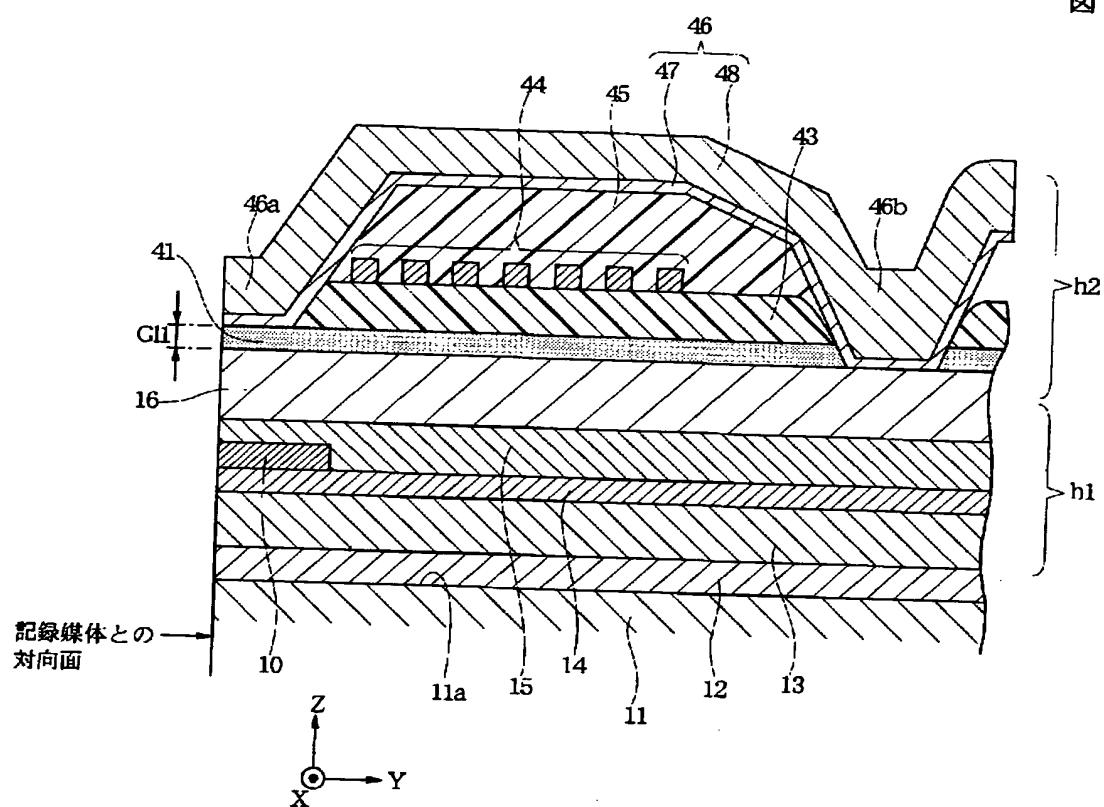
【図5】

図5



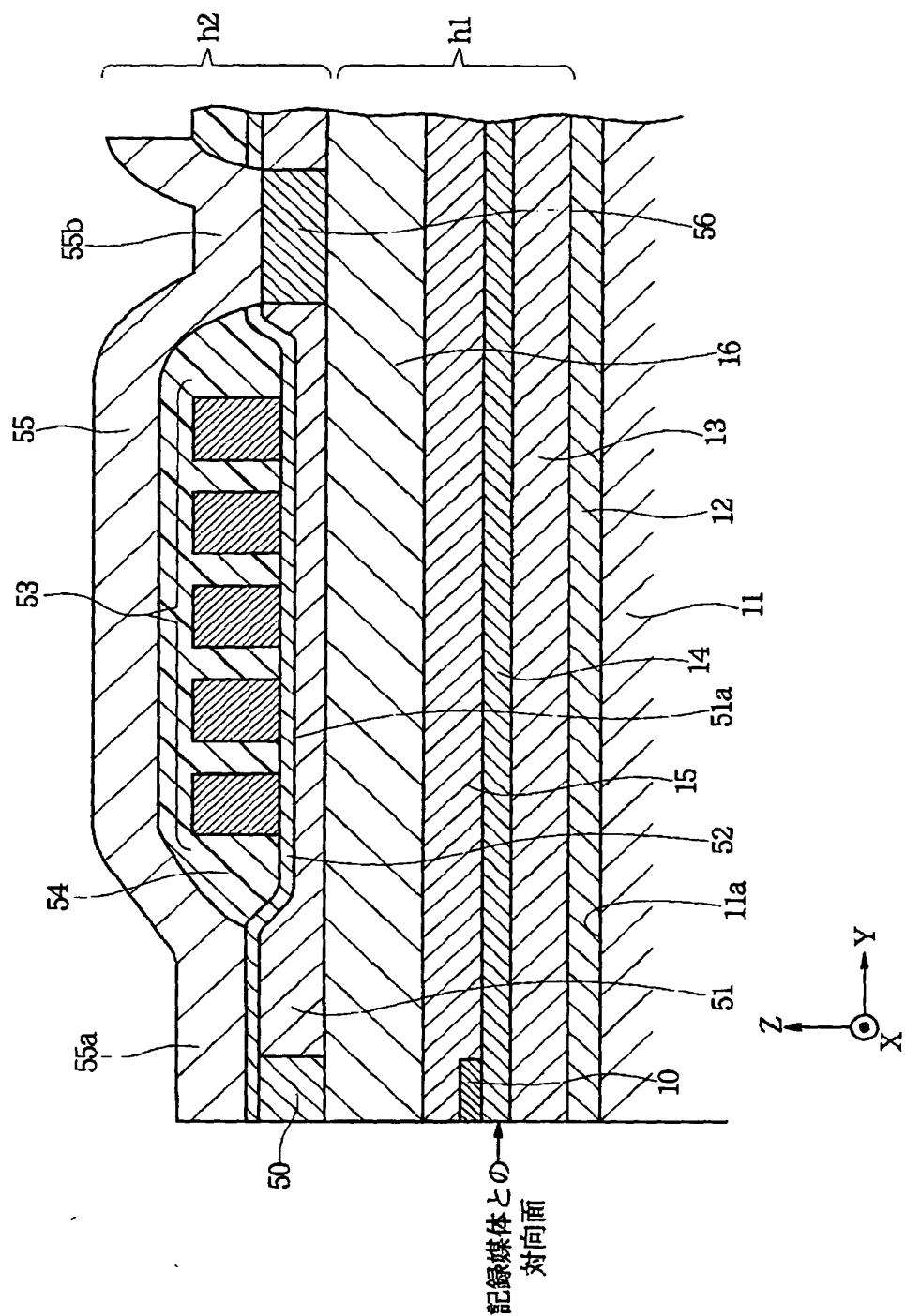
【図6】

図6



【図7】

図7



【図8】

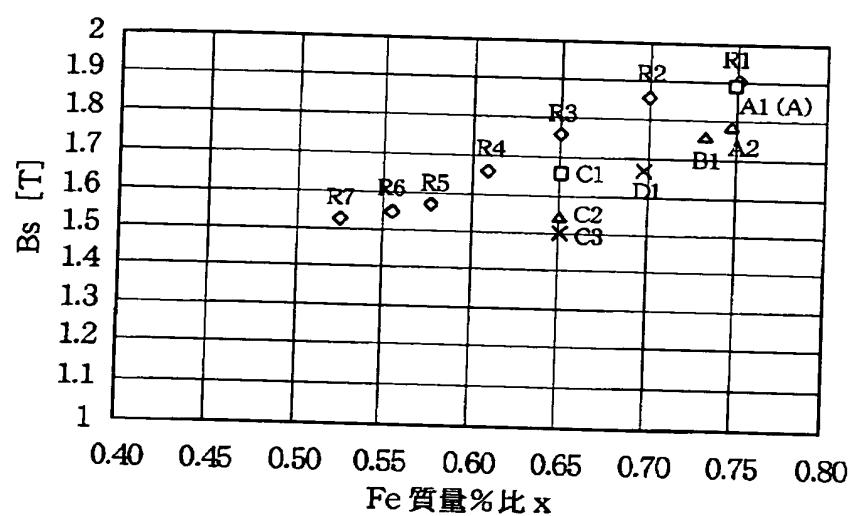


図8

【図9】

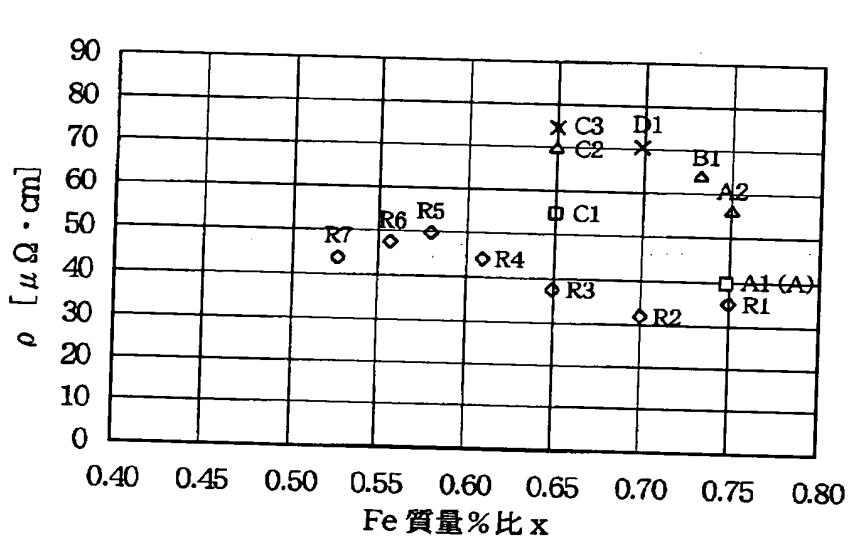
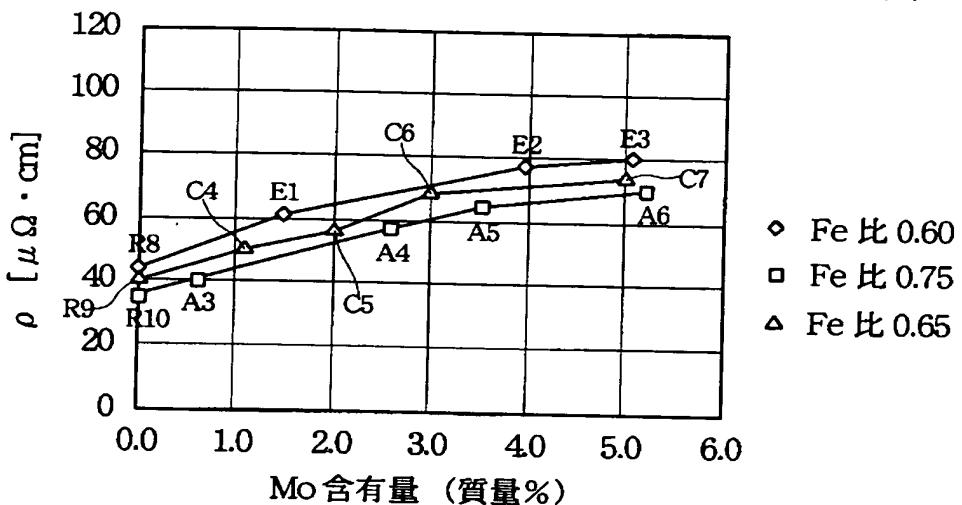


図9

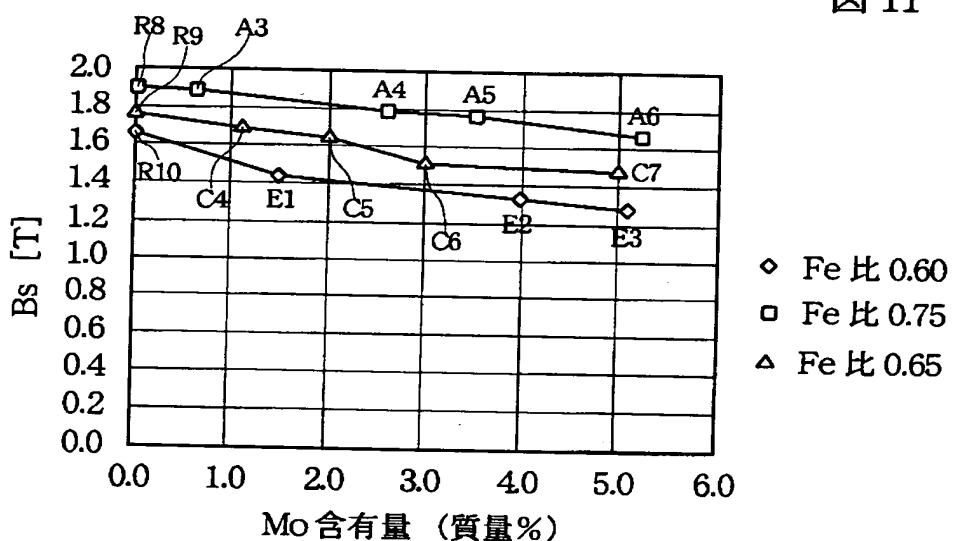
【図10】

図10

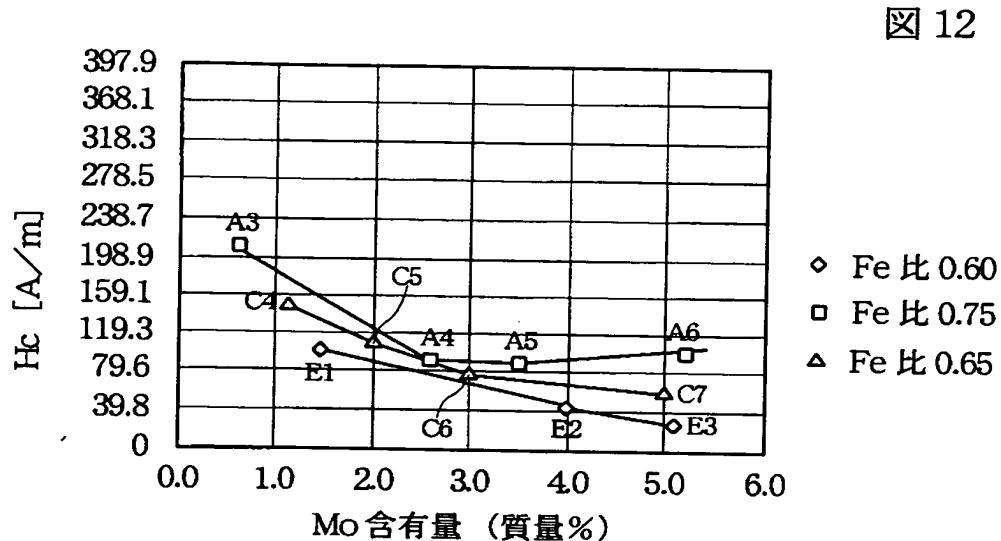


【図11】

図11

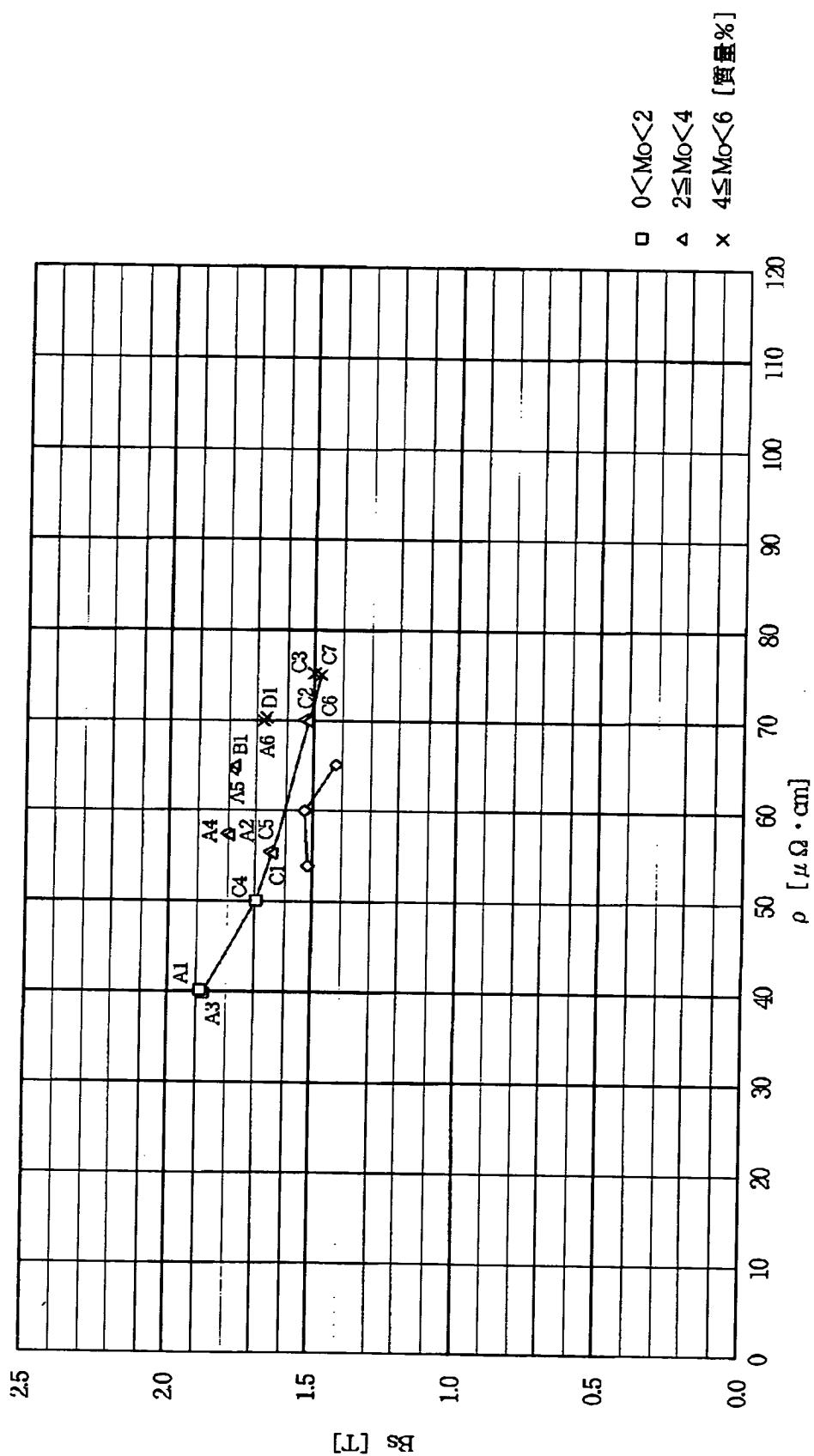


【図12】



【図13】

図13



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高周波信号領域におけるうず電流損失が小さくかつ飽和磁束密度が小さい軟磁性膜及びこの軟磁性膜を用いて高記録密度化に対応できる薄膜磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】 組成式が $(Fe_xNi_y)_{aM\circ b}$ (ただし、x、yは質量%比で、 $0.65 \leq x \leq 0.75$ 、 $x + y = 1$ 、a、bは質量%で、 $0 \text{ 質量\%} < b \leq 5 \text{ 質量\%}$ 、 $a + b = 100 \text{ 質量\%}$) の関係を満足するものである。) で示されること軟磁性膜を形成し、この軟磁性膜を用いて下部コア層16及び／または上部コア層22を形成する。これにより飽和磁束密度を1.6T以上、比抵抗 $40 \mu\Omega \cdot cm$ 以上にでき、高周波信号領域における損失の小さい薄膜磁気ヘッドを提供することができる。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号
氏 名 アルプス電気株式会社